

Ueber das Problem, in natürlichen Farben zu photographiren.

Original-Abhandlung

von

Hermann Krone,

Docent für Photographie an der Königl. Sächs. Technischen Hochschule zu Dresden.

Dresden, 1893.

Herm. Krone's photographischer Kunstverlag.

Leipzig, bei K. F. Koehler.

41.



Ueber das Problem, in natürlichen Farben zu photographiren.

Von **Hermann Krone.**

Wer hätte nicht bei der Betrachtung des Bildes in einer Camera obscura das Verlangen gehegt, dieses Bild nicht nur wie es die Photographie zu thun pflegt, in seinen Schatten- und Licht-Abstufungen, sondern in seinem ganzen Farbenreichthum abbilden zu können. Ob, und in wie weit dies möglich ist, darüber kann nur aus der Erfahrung Aufschluss erwartet werden.

Wir wissen, dass das Licht gewisse Veränderungen an Körpern bewirkt. Wir wissen auch, dass gewisse Farben anders wirken, als andere, oder als weisses Licht.

Ritter hatte bereits 1801 die Eigenschaft des Silberchlorids, im Lichte dunkler zu werden, dazu benutzt, den Nachweis zu liefern, dass es auch ausserhalb des sichtbaren Spectrums noch Lichtstrahlen gebe, von denen besonders die ultravioletten das Chlorsilber sehr intensiv dunkelten. In diesem Prozess bestätigte sich die Behauptung Scheele's, dass diese Farbenveränderung einer Reduction des Silberchlorids durch das Licht zu verdanken sei.

Seebeck, erst in Jena, dann in Dresden, welcher sich später mit diesen Untersuchungen weiter beschäftigte, machte 1810 zuerst darauf aufmerksam, dass das Chlorsilber unter der farbigen Belichtung durch das Sonnenspectrum nicht nur dunkler werde, sondern verschiedene Farben annehme, und dass das Aufhellen des vorher gedunkelten Chlorsilbers im Roth, Orange und Gelb, wie man vermuthet hatte, auf Oxydation, nicht auf Reduction beruhe. Diesem gegenüber bestätigte Sennebier ebenfalls eine Reduction, wenn auch in bedeutend geringerem Maasse, als ausserhalb des Violet. Damit war der Anfang gemacht, mittels des Lichtes Farben abzubilden. John Herschel, der sich besonders 1836 bis 1839 mit diesen Untersuchungen weiter beschäftigte und seine hierbei gewonnenen Erfahrungen in seinen „Researches on Light" niedergelegt hat, arbeitete ganz besonders dadurch, dass er die Einwirkung des Lichtes auf eine grosse Anzahl anderer Körper ausser auf das Chlorsilber studirte, später vielfach mit Hunt in Gemeinschaft eine Reihe photographischer Prozesse aus, mittels deren das erlangte Lichtbild lebhaft einfarbig erscheint. Unter diesen Prozessen ist es besonders der Herschel-Hunt'sche Blauprozess, der noch heut einer der wichtigsten und nützlichsten der verschiedenen

Lichtpausprozesse ist. Derselbe gründet sich auf die Lichtempfindlichkeit der Eisenoxydsalze. Ueberall da, wo das bestrahlende Licht das Oxyd zu Oxydul reducirt hat, schlägt sich unter Gegenwart von Kaliumferridcyanid (rothem Blutlaugensalz) tiefblaues Berlinerblau nieder, an den Oxydstellen nicht, deshalb erscheinen diese nach dem Waschen des Bildes weiss. 1843 veröffentlichte Hunt in Dingler's Polyt. Journ., Bd. 90, S. 413, einen „Chromotyp"-Prozess, der es ermöglichte, von einer Zeichnung ein direct positives Lichtpausbild in kräftig rother Farbe herzustellen. In einem mit Kaliumbichromat und Kupfersulfat präparirten Papiere wurde unter der Einwirkung des Lichtes die Chromsäure zu chromsaurem Chromoxyd reducirt. Bei der nach der Belichtung vorgenommenen Entwickelung mittels einer Silbernitrat-Lösung bildete sich an den unbelichtet gebliebenen Stellen, wo also die Chromsäure unverändert geblieben, saures chromsaures Silberoxyd in schöner rother Farbe. Gleichzeitig mit der Reduction der Chromsäure spaltet sich das Kupfersulfat, wobei sich braunes $^1/_4$-chromsaures Kupferoxyd bildet, das die Intensität des Bildes erhöht, wenn auch das Roth abstumpft. Jedenfalls aber leisten beide Salze vereint dem Waschen besseren Widerstand.

In allen diesen Methoden jedoch war der Weg zur polychromen Farbendarstellung verlassen worden, es handelte sich nur darum, monochrom gefärbte Resultate zu erlangen.

Becquerel sen. and Niepce de Saint-Victor nahmen 1848 die Experimente auf Grund der polychromen Farbenempfindlichkeit des Chlorsilbers von Neuem auf, in jener Zeit, in der man hauptsächlich dem Daguerre'schen Lichtbildverfahren, das 1839 veröffentlicht worden war, die grösste Aufmerksamkeit widmete. So entstand ein Verfahren, Farben auf Daguerre'schen Platten zu erzeugen, indem man solche Platten in einem Bade von Kupferchlorid oder Chlorkalk mit einer Lage von Silbersubchlorid überzog und belichtete. Die lange Belichtungsdauer erlaubte es nicht, lebende Wesen auf diesem Wege abzubilden, doch erreichte man besonders kräftig Roth, Blau, auch Grün, zuletzt Gelb und einige Mischfarben im vollen Sonnenschein. Niepce legte dies Verfahren in 5 Memoiren nieder und veröffentlichte diese bis zu seinem Tode 1870 in den „Compt. rend. de l'Acad. d. Sciences" und in den verschiedenen Jahrgängen des „Bull. de la Soc. Franç. d. Photogr." in Paris.

Die erlangten Farben liessen sich leider nicht fixiren. Sie verschwanden nach und nach, obgleich man die Resultate nur bei sehr schwachem Lichte betrachten durfte. Ganz besonders in Anbetracht der geringen Haltbarkeit dieser Farbenresultate wurde der Gegenstand nur von Wenigen, und auch dies nur in grossen Unterbrechungen, weiter verfolgt. Unter Denen, welche in dieser Sache mit Ernst bahnbrechend weiter arbeiteten, ist es besonders Poitevin in Paris, dem wir die Kenntniss der hohen Verwendbarkeit der chromsauren Salze in Gemeinschaft mit dem violetten Silbersubchlorid zur Darstellung farbiger Bilder durch Contactbelichtung verdanken. Er war der Erste, der in den fünfziger Jahren seine Untersuchungen über diesen Gegenstand dahin erweiterte, dass er der lichtempfindlichen Schicht von violettem Silbersubchlorid andere lichtempfindliche Körper hinzufügte, die geeignet sind, unter farbiger Bestrahlung sowohl selbst farbige Reductions-Producte abzusetzen, als auch dies in ihrer gegenseitigen Aufeinanderwirkung in der zu Grunde gelegten Subchloridschicht zu veranlassen.

Wie John Herschel immer noch der Ansicht Seebeck's lebte, dass der Reductionsprozess im Lichte von seinem Maximum im Ultraviolet bis zum Grün hin mehr und mehr abklinge und endlich ganz aufhöre, und dass dagegen vom rothen Ende des Spectrums bis ins Gelb ein Oxydationsprozess auftrete, so vertrat Anfangs Poitevin dieselbe Ansicht und bethätigte dies durch Einführung sauerstoffreicher resp. chlorhaltiger Körper in seine farbenempfindliche Schicht, wovon er jedoch später ganz Abstand genommen hat.

Poitevin erinnerte sich bei seinen Arbeiten mit Kaliumbichromat an das oben erwähnte Chromotyp-Verfahren von Hunt. Nach einer grossen Reihe empirischer Experimente gelang ihm die Zusammenstellung einer farbenempfindlichen Schicht, welche aus violettem Silbersubchlorid, Kaliumbichromat, Kupfersulfat und Chlorkalium bestand, und welche unter Contactbelichtung durch ein farbiges Transparentbild farbige Resultate gab. Diese Schicht hatte mit der von Becquerel und Niepce das gemein, dass sie an sich dunkel war, und dass die hellen Partien des Bildes aus diesem dunkeln Localton heraus bleichen mussten. Dieser Bleichprozess ist es eben, den man immer noch für das Resultat einer Oxydation halten zu sollen wähnte. 1865 beschäftigte sich Poitevin von Neuem mit dieser seiner Methode und veränderte dieselbe wiederholt immer auf Grund seiner inzwischen weiter fortgeschrittenen Erfahrungen. In zwei Sitzungen der Société Française de Phot., zuerst am 12. Jan. 1866, dann am 7. Decbr. 1866, legte Poitevin seine Farben-Resultate unter beiläufiger Angabe seines Verfahrens vor, jedoch ohne den inneren Vorgang des ganzen Prozesses irgendwie zu beleuchten.

Einige Monate später, Anfang 1867, beschäftigte ich mich selbst mit dem Poitevin'schen Verfahren nach dessen Original-Mittheilungen, deren Einzelnheiten ich in einigen Stücken etwas abänderte und stellte in der photographischen Ausstellung in Hamburg 1868 eine Reihe meiner damit erzielten Farbenresultate aus. Nach zehn Jahren waren diese Bilder ausnahmslos noch ziemlich farbendeutlich; heute, nach 25 Jahren, sind nur an einigen, die weniger an's Tageslicht genommen wurden, Roth, Gelb, Blau und Mischfarben deutlich zu erkennen, ein allgemeiner violettlicher Ton von Silbersubchlorid gewinnt nach und nach mehr und mehr die Oberhand. In der Wanderversammlung des Deutschen Photographen-Vereins v. 26. August 1891 in Dresden habe ich das Verfahren in der von mir aufgestellten Modification ausführlich bekannt gegeben (s. Deutsche Phot. Ztg. 1891, Nr. 36).

Dr. Wilhelm Zenker in Berlin, welcher in derselben Zeit diesem Poitevin'schen Farbenverfahren vielen Fleiss widmete, war der Erste, der die Natur des dabei auftretenden Bleichprozesses zu erklären begann, indem er in dem ganzen Farbendarstellungs-Vorgange nicht allein einen chemischen, sondern ganz besonders einen physikalischen Prozess erkannte. Man kam indess in der ganzen Sache nicht vorwärts, zumal das Verhalten des Resultats der Reduction des Silberchlorids im Lichte in verschiedenen Fällen ein verschiedenes war. Immerhin schien aus den Erfahrungen bei diesen Arbeiten hervorzugehen, dass man es bei der durch das Licht bewirkten Reduction des Silberchlorids nicht mit einem absoluten Silbersubchlorid, sondern mit einer Reihe von Modificationen desselben zu thun habe, die einestheils von der relativen far-

bigen Belichtung, andererseits von gegenwärtigen anderen Körpern abhängig sind, und ferner, dass sich einige dieser Modificationen den dieselben veranlassenden Spectralfarben entsprechend färben.

In der That findet das Vorhandensein einer Anzahl farbiger Silbersubverbindungen der Halogene glänzende Bestätigung durch eine dreijährige Reihe von Untersuchungen, 1885 bis 1887, die dem amerikanischen Forscher Carey Lea in Philadelphia zu verdanken sind. Derselbe stellte fest, 1. dass Chlor, Brom und Jod fähig sind, mit Silber schön gefärbte Verbindungen einzugehen, von pfirsichblüthen-, rosenrother, purpurner und schwarzer Farbe; 2. dass von diesen Verbindungen das rothe Photochlorid eine ausgesprochene Neigung zur Wiedergabe der Farben besitzt, und dass die Farbendarstellung von Becquerel, Niepce und Poitevin auf dieses Agens zurückzuführen sein dürfte. Zugleich widerlegte auch Lea die Vermuthung Sahler's und Hodginson's, dass man es bei der Belichtung von Silberchlorid nach und nach mit einem Oxychlorid des Silbers zu thun bekomme; er bewies vielmehr das Dafürhalten Pringsheim's und H. W. Vogel's, dass in der That das Licht die Silberhaloidverbindungen zu an sich unbeständigen Subverbindungen reducire, und ferner, dass diese letzteren sofort wieder mit einem Theile der ersteren neue und zwar beständige Verbindungen eingehen. Diese nannte er Photochlorid, Photojodid, Photobromid; ja, er stellte diese sogar auch ohne Lichtwirkung im chemischen Laboratorium beliebig dar. Ob die auf diesen Körpern, und ganz besonders auf dem Photochlorid, zu erreichende Farben-Mannigfaltigkeit einem einzigen Körper in verschiedenen Modificationen desselben, oder einer Reihe von analogen Körpern, die etwa unter diesem einen Collectivnamen zusammenzufassen wären, oder vielleicht einer verschiedentlichen physikalischen Umordnung der Moleküle dieses Körpers in dem Bildträger zu dünnen, dem bestrahlenden farbigen Lichte entsprechenden Schichten zugesprochen werden muss, darüber werden erst noch weitere Untersuchungen Aufschluss geben können.

Es sind jedoch keineswegs alle Spectralfarben, welche auf dem rein chemischen Wege auf der farbig belichteten Schicht zum optischen Ausdruck gebracht werden. Es sind auch nicht dieselben Farben, welche unter dem die Schicht bestrahlenden Spectrum oder transparenten Farbenoriginal abgebildet werden. Es hängt vielmehr von der Dauer der Belichtung ab, welches Roth z. B., oder welches Violet u. s. w. unter den belichtenden rothen oder violetten Strahlen entsteht. Die Farben durchlaufen ganze Reihen von Intensitäten und Farbentönen. Die Farbenwirkung äussert sich ferner niemals gleichzeitig, sondern immer erst nach einer gewissen Belichtungsdauer, die für alle Farben eine andere ist, so dass einige Farben bereits überlichtet sind, wenn andere erst zu erscheinen beginnen. Zuletzt hat man eine Anzahl von Farben gleichzeitig auf dem Bilde, die mehr oder weniger von den bei der Belichtung thätig gewesenen in Ton und Intensität abweichen und die sich fortwährend weiter zu verändern streben.

Bei späteren sehr vereinzelten Experimenten mit der Poitevin'schen Farbendarstellungs-Methode oder mit Modificationen derselben, wie sie z. B. 1873 durch Saint-Florent in Paris, und 1890 durch Veress in Klausenburg stattfanden, wurde nichts die Erkenntniss des Vorgangs Förderndes

erreicht. Dies veranlasste mich, 1890 mich von Neuem mit der photographischen Farbendarstellung nach Poitevin zu beschäftigen, um über den inneren Vorgang, und wenigstens über den chemischen Theil desselben, Aufschluss zu erlangen. Suchen wir uns denselben, nach meinen Erfahrungen, einigermaassen übersichtlich zu verdeutlichen, ohne jedoch eine geordnete Reihenfolge der stattfindenden Umbildungen, die je nach Massgabe der Belichtungsdauer stetig fortschreiten, aufstellen zu können.

Aus dem Kaliumbichromat $KO.2CrO_3$, wird im Lichte zunächst chromsaures Chromoxyd, $Cr_2O_3.CrO_3$ ($=$ Chromsuperoxyd, CrO_2), reducirt und Chrom, Cr, wird frei. Das chromsaure Chromoxyd wird weiter reducirt und zerlegt sich zu Chromsäure, CrO_3, und Chromoxyd, CrO_2.

Dieser Vorgang wirkt sensibilisirend auf das bereits als Grundlage vorhandene Photochlorid. Dieser Körper wird weiter reducirt, metallisches Silber und Chlor werden frei. Während Silber mit der reichlich vorhandenen Chromsäure saures chromsaures Silberoxyd, $AgO.2CrO_3$, in rother Farbe bildet, vereinigen sich Chrom und Chlor, je nach Massgabe der fortschreitenden Belichtung durch andere freiwerdende und sich weiter verbindende Körper anders disponirt, zu Chromchlorid, Cr_2Cl_3, welches im Lichte zu blauem Chromchlorür, $CrCl$, reducirt wird, ferner mit Sauerstoff zu grünem Chromoxychlorid, $Cr_2O_2Cl + 3H_2O$, zu rothem Chromacichlorid, $CrCl_3.2CrO_3$, oder chromsaurem Chromsuperchlorid CrO_2Cl, und zu Chlorchromsäure, $CrCl_3$, die mit dem frei werdenden Kali rothes chlorchromsaures Kali, $KCl.2CrO_3$, oder $KO.CrO_3.CrO_2Cl$, oder $3(KO.CrO_3) + (CrCl_3.2CrO_3)$, bildet.

Das Kupfersulfat, $CuO.SO_3$, wird zum Theil zu Kupferoxyd und Schwefelsäure zersetzt, zum Theil wird es durch Aufnahme von Chromsäure zu einem modificirten schwefelsaueren Kupferoxyd, nämlich zu chromschwefelsaurem Kupferoxyd $(CuO)_2.SO_3(CrO_3)$, umgewandelt, in welchem 1 Aequivalent Schwefelsäure durch Chromsäure vertreten ist und Grün bilden hilft. Ein anderer Theil des zur Darstellung gelangenden Grün wird durch Chlorkupfer, $CuCl$, gebildet.

Das kräftig reducirend wirkende, also die Lichtwirkung unterstützende Chromchlorür, $CrCl$, fällt aus Kupferoxyd, CuO, weisses Kupferchlorür, Cu_2Cl, welcher Vorgang also einen Theil des Bleichprozesses bildet; wo jedoch nach Massgabe der Belichtung an anderen Stellen ein Ueberschuss von Chromchlorür, $CrCl$, mit Kupferoxyd, CuO, zusammentrifft, schlägt sich rothes Kupferoxydul, Cu_2O, nieder.

Ausserdem aber hat sich noch braunes $^1/_4$-chromsaures Kupferoxyd, $4CuO.CrO_3 + H_2O$, gebildet, welches durch Wiederaufnehmen frei werdender Schwefelsäure mit dieser immer wieder von Neuem chromschwefelsaures Kupferoxyd $(CuO)_2.SO_3(CrO_3)$ bildet.

Das bei diesem Vorgange übrig bleibende braune zweifach chromsaure Kupferoxyd, $CuO.2CrO_3 + 2H_2O$, ist in geringer Menge vorhanden und löst sich beim Nachwaschen aus dem Bilde heraus, ebenso wie ein Theil des rothen sauren chromsauren Silberoxyds, $AgO.2CrO_3$.

Der Bleichprozess, welcher je nach Massgabe der Belichtungsdauer ununterbrochen fortschreitet und schliesslich bei übertriebener Ueberbelichtung das ganze Bild nahezu verschwinden macht, blieb mir in seinem inneren Vorgange so lange unverständlich, bis ich im Laufe des Jahres 1892 aus meinen neuesten Experimenten nach Lippmann erkannte, dass dieser

Prozess, wenngleich begünstigt durch die Gegenwart von Zinnprotochlorid=Chlorzinnoxydul, Sn O.Cl, und von Kupferprotochlorid= Kupferchlorür, Cu_2Cl, so doch an sich der Ausdruck eines rein physikalischen Vorgangs ist, und dass man überhaupt bei dem ganzen heliochromischen Verlaufe, mit Zenker, an der von Bunsen und Roscoe genügend bewiesenen Thatsache festzuhalten habe, dass die chemische Wirkung von der Intensität der Lichtschwingung an jedem Punkte abhängig ist. Dasselbe Resultat ergab sich mir aus meinen gleichzeitigen Untersuchungen der photographischen Solarisations-Erscheinungen (s. Krone, über Lichthöfe und Solarisation, Deutsche Photogr. Ztg. 1891, 1892) und ich darf behaupten, dass mir die dabei gemachten Erfahrungen bei meinen erfolgreichen Experimenten, die Spectralfarben wahrheitsgetreu farbig zu photographiren, von grösstem Nutzen waren. In der That ist der ganze Bleichprozess das Resultat von Solarisation, ebenso wie im photographischen Negativverfahren. Es ist ja von höchstem Interesse bei dem ganzen complicirten heliochromischen Vorgange, dass der farbige Niederschlag im Bilde der farbigen Belichtung mehr oder weniger entsprechend erfolgt, dass also z. B. unter einem belichtenden Roth auch wirklich ein Roth, unter einem Gelb ein Gelb u. s. w. entsteht. Während die Materialien für alle diese Farben über das ganze Bild verbreitet sich vorfinden, weckt doch jede einzelne Farbe in der lichtempfindlichen Schicht, die sie bestrahlt, gerade eben nur diejenigen ihr entsprechenden Bestandtheile, um an dem von ihr beleuchteten Orte eine ihr ganz ähnliche Farbe niederzuschlagen. Wenn hier nicht ein inniger causaler Zusammenhang bestände, würde sich z. B. unter Roth ein blaues, unter Gelb ein grünes, unter Blau etwa ein gelbes oder irgendwie anders gefärbtes Bild niederschlagen.

Die zunächst liegende Frage ist nun die: Worin besteht dieser Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung? In der vollen Lösung dieser Frage und in der Möglichkeit, alle Bedingungen zu erfüllen, dass dieser causale Zusammenhang in allen Fällen unweigerlich zum Ausdruck gebracht werde, in denen dieser Ausdruck angestrebt wird, ist die Lösung des ganzen Problems enthalten, vorausgesetzt, dass das die Beantwortung Fordernde, d. h. die das der Natur entsprechende Farbenresultat fordernde Farbenbestrahlung, in seiner Beschaffenheit an sich von dem optischen Eindrucke, den es auf die Wahrnehmung macht, in Nichts abweiche.

Dieser causale Zusammenhang ist rein physikalischer Natur und nur unter Bezugnahme auf die Vorgänge und die sich aus der Beobachtung als mathematisch richtig ergebenden Werthe der Wellenbewegung des Lichtes mehr und mehr zu ergründen. Nachdem wir in jüngster Zeit aus den epochemachenden Erfahrungen von Hertz ein inneres causales Band, ja in gewisser Hinsicht Identitäts-Zustände zwischen Licht, Electricität, Magnetismus, Wärme, Gravitation, chemischer Verwandtschaft und überhaupt chemischer Action kennen gelernt haben, liegt ein neues grosses Gebiet auch für die Forschung in unserem Bereich und für unsere Zwecke fertig abgegrenzt vor uns und die Zeit ist vorüber, sich darin aussichtslos in Hypothesen zu ergehen.

Der erste Schritt von epochemachender Bedeutung auf diesem rein physikalischen Forschungsgebiet ist in neuester Zeit von Dr. Gabriel

Lippmann, Professor der Physik an der Sorbonne zu Paris, geschehen. Lippmann (siehe dessen Mitth. a. d. Académie des Sciences, Paris 1891, Jan. u. Febr.; s. auch Buguet, Photogr. des couleurs, 1891, Paris, Gauthier-Villars) gelang es zuerst, durch das Experiment nachzuweisen, dass der 1868 von Zenker in seiner „Photochromie" vorgezeichnete, und von Wiener experimentell weiter verfolgte Weg (siehe Wiener's Veröffentlichung v. 15. Mai 1890 in Wiedemann's Annalen f. Phys. u. Chem., Bd. 40, Hft. 2, S. 203) mittels gespiegelten Lichtes Interferenzen herbeizuführen und stehende Wellen zu erzeugen, der richtige sei, um auf lichtempfindliche Schichten einfallende farbige Lichtstrahlen je nach der Wellenlänge derselben farbig festzuhalten. Jede dieser durch Interferenz desselben farbigen Lichtes hergestellten dünnen Lagen in den Farbenbildern Lippmann's bringt in ihrem Innern eine durch den jeweilig angewandten photographischen Prozess abgebildete, wenn man es so ausdrücken will, zum Stehen gebrachte Welle des bestrahlenden Lichtes dadurch zum Ausdruck, dass sich hier an der Stelle eines Lichtmaximums, das durch die sich kreuzenden, einfallenden und reflectirten Strahlen durch Summirung ihrer gleichnamigen Wellenpartien gebildet wird, beim Entwickeln Silber ablagert, welches dann als sichtbares Abbild der Welle reflectirt erscheint. Allen feinen Farbenübergängen im Spectrum und deren Wellenlängen entsprechend befindet sich an allen Stellen des Farbenbildes von Roth bis ins Ultraviolet stetig fortschreitend eine in ihrer Anzahl unter sich ungleiche, stetig anwachsende Summe von mehreren hunderten dünner Lagen, die von den Interferenzstellen um je eine halbe Wellenlänge abstehen, in der Dicke der lichtempfindlichen Schicht so über einander gelagert, dass an allen Stellen des Bildes das Niveau der Schicht damit angefüllt ist.

Unerlässliche Voraussetzung für das Gelingen des Experiments ist eine durchaus homogene Schicht, welche durch geeignete Farbensensibilisatoren für alle Spectralfarben gleich lichtempfindlich gestimmt ist. Die Schicht darf, unter dem Mikroskop betrachtet, keine Structur zeigen. Gröbere Einschaltungen in der Schicht, wenn sie die Dimension einer halben Wellenlänge überschreiten, sind ganz selbstverständlich mechanische Hindernisse für den Weg des Lichtstrahls und heben also die Farbenwirkung auf. Eine weitere Voraussetzung ist das Vorhandensein einer Spiegelung in Berührung mit der lichtempfindlichen Schicht. Berührt der Spiegel die Schicht nicht, befindet sich also nur der geringste Luftraum zwischen dem Spiegel und der Schicht, so können Interferenzen der gleichartigen Lichtstrahlen, also auch stehende Wellen derselben nicht zu Stande kommen, weil sowohl der einfallende, als auch der reflectirte Lichtstrahl in diesem Luftraume gebrochen werden. Um diesem Bedürfniss zu entsprechen, brachte Lippmann flüssiges Quecksilber in Contact mit der lichtempfindlichen Schicht und erreichte dadurch eine höchst intensive Reflexion.

Mit dem ersten Bekanntwerden der Resultate Lippmann's trat ich selbst mit diesem hochverdienten Forscher in Correspondenz und begann meine eigenen experimentellen Arbeiten nach dem Prinzip von Lippmann, die ich bis zum Sommer 1892 unter mehrfachem Austausch der gegenseitigen Erfahrungen fortsetzte. Bei diesen Arbeiten gewann ich die oben erwähnten Aufschlüsse über das Ausbleichen der Farben durch Ueberbelichtung, das

Zusammenschmelzen derselben zu Weiss, über das Verhalten von Mischfarben und über das Vorrücken oder Zurückbleiben der Farben im Farbenresultat, je nach Modificationen der Art und Weise der Spiegelung, der Bestrahlung und der Belichtungsdauer. Bei meinen gleichzeitig publicirten Arbeiten über Lichthöfe (s. Deutsche Phot. Ztg., 1891) hatte ich der Zickzackspiegelung im Glase experimentelle Aufmerksamkeit gewidmet und ich sagte mir, wenn, wie nicht zu bezweifeln ist, dieser Vorgang stattfindet, so müssen sich auch ohne den Quecksilberspiegel Lippmann's mit dem einfallenden Lichte durch das in der inneren Glasseite zurückgespiegelte Licht Interferenzen und stehende Wellen ergeben; es muss also bei der Belichtung im Spectrum auf diesem Wege möglich sein, die Spectralfarben abzubilden, nur müssen diese etwas verschoben erscheinen, und zwar in der Richtung der je schräger einfallenden Farbenstrahlen; ferner müssen in den schmaleren Farbenregionen von Roth zum Grün Mischfarben auftreten; endlich wird das Roth erst bei sehr verlängerter Bestrahlung im Farbenresultat zum Ausdruck kommen. Alles dies hat sich mir im Experiment voll bestätigt. Am 5. Januar 1892 publicirte ich diese meine Methode, nur mittels der Zickzackspiegelung im Innern der Glasplatte, also ohne den Quecksilberspiegel Lippmann's, Spectra farbig zu photographiren (s. Krone, Weiteres über Farbenphotogr. d. Sonnenspectr., Deutsche Photogr. Ztg. 9, S. 29, Weimar 1892).

Es würde den Rahmen dieser übersichtlichen Zusammenstellung weit überschreiten, wollte ich hier auf diese Experimente mit oder ohne Quecksilberspiegel specieller eingehen oder alle die damit erreichten physikalischen Erfahrungen näher besprechen. Die vorgelegten Resultate, von denen zwei der Physikalischen Sammlung der K. Technischen Hochschule zu Dresden angehören, zahlreiche andere ausserdem in Berlin, Wien, Weimar u. a. O. und jederzeit in meinem Laboratorium in Dresden eingesehen werden können, liefern genügenden Beweis dafür, dass es auf diesem Wege nicht nur möglich, sondern durchaus vollständig gelungen ist, Spectra (Sonnenspectrum, das Spectrum des elektrischen Bogenlichtes) in allen Farben naturwahr, am richtigen Orte und in voller Intensität, für alle Zeit haltbar, vollständig fixirt, zu photographiren. (S. meine weiteren Mitth. hierüber: H. Krone, Ueber Farbenphotogramme v. Spectren, in Wiedemann's Annalen d. Phys. u. Chem. Neue Folge, Bd. XLVI, 1892; Phot. Mitth. Berlin, 29. Jahrg., 1892, 1. Juni, S. 67 u. ff.; Phot. Mitth., 29. Jahrg., 1892, 1. Nov., S. 234 u. ff.)

Das wahrheitsgetreue und local richtige Auftreten der den Spectralregionen zukommenden Farbe im photographischen Endresultat ist jedoch nicht absolut, sondern relativ, ausnahmslos abhängig von einem peinlich genauen erfahrungsgemässen Zusammenstimmen: 1. der lichtempfindlichen Schicht in ihrer physikalischen und chemischen Beschaffenheit, 2. von dem Wärmegrade beim Herstellen der Schicht, 3. von der Belichtungsdauer, 4. von der Entwickelung, 5. von der Sonnenhöhe über dem Horizont. Mit Hilfe von willkürlichen Veränderungen innerhalb dieser gegenseitigen Beziehungen hat es der Experimentirende in der Hand, willkürliche Modificationen in dem farbigen Endresultat herbeizuführen. Dieser Umstand ist von um so grösserer Wichtigkeit, als gerade darin die Möglichkeit beruht, mittels dieses photographischen Farbendarstellungs-Prozesses weitere physikalische Aufschlüsse zu er-

langen. Erst dadurch ist das Experiment für die Wissenschaft werthvoll geworden, dass, nachdem die Möglichkeit durch das Factum erwiesen war, das Spectrum getreu farbig abzubilden, in allen Wiederholungen des Experimentes der Nachweis geliefert werden kann, dass das Gelingen des naturgetreuen Resultates nicht durch Zufall, sondern durch bewusstes Arbeiten auf diesem nun als richtig anzuerkennenden Wege herbeigeführt wird und dass von nun an jedes damit erlangte Endresultat berechtigte logische Schlussfolgerungen gestattet.

Auf diesem experimentellen Wege allein ist die Möglichkeit gegeben, zu einem erweiterten Verständniss über das Verhalten der Mischfarben zu gelangen, und zumal in dieser Hinsicht bieten die Erfahrungen, die auf beiden Wegen, mit und ohne Quecksilberspiegel erlangt werden, gegenseitige Ergänzungen, respective Bestätigungen und Erklärungen.

Die durch das Experiment erwiesene Möglichkeit, dass je nach dem willkürlichen Zusammenstimmen der erwähnten Bedingungen im Endresultat Farben anderer Wellenlängen, als der belichteten, auftreten können, erregt schon das Bedenken, ob es überhaupt möglich sein dürfte, die Farbenerscheinungen der uns umgebenden Welt mit ihren tausendfältigen Mischfarben jemals getreu abzubilden. Wir haben bisher nur die Farbendarstellung des reinen Spectrums besprochen. Die experimentelle Erfahrung lehrt, dass, wenn man auf der lichtempfindlichen Platte durch Ineinanderschieben von Spectralfarben willkürlich Mischfarben projicirt, diese unter verschiedenen Bedingungen, die auf die reinen Spectralfarben ohne Einfluss sind, verschiedene Farbenerscheinungen im Endresultat, und sogar vorwiegend ein Auslöschen der Farben, ein Zusammenfliessen zu einem stumpfen Weiss, verursachen. Indem wir das reine Spectrum abbilden, photographiren wir die leuchtende Lichtquelle selbst, und in dieser die unter sich verschiedenen Wellenlängen ihrer systematisch wohl geordneten Farbenstrahlen. Anders ist es mit den von uns wahrgenommenen Farben der uns umgebenden Natur. Wie unter dem Einfluss einer Fülle rauschender Accorde eine Saite lediglich in einem einzigen Tone, in welchem sie gestimmt ist, leise erklingt, sobald dieser ertönt, so können die uns umgebenden Gegenstände unter der Bestrahlung durch weisses Sonnenlicht je nach der Anordnung der Moleküle ihrer Oberfläche immer nur diejenigen Farbenstrahlen der sie beleuchtenden Lichtquelle leise zurücktönen, für welche diese ihre Moleküle gestimmt sind. Und diese Stimmung scheint höchst selten eine einheitliche zu sein; sie scheint ferner ein eigenthümliches Accomodations-Vermögen zu besitzen, etwa wie das Auge, wenngleich in durchaus verschiedener Weise von diesem. Ueberdies ist die Farbenstimmung aller Gegenstände um uns her unter sich wiederum durchaus verschieden. Bedenken wir nun ausserdem, dass die Klangfarbe der Lichtquelle sich stetig ändert, dass diese von der Tages- und Jahreszeit (Sonnenhöhe), von der Beschaffenheit der Atmosphäre, von vorüberziehenden Wolken, von mancherlei local auftretenden Einwirkungen abhängig ist — so dürfen wir getrost zugestehen, dass wir es hinsichtlich der Farben und Farbentöne der uns umgebenden Welt lediglich mit einer Fülle in fortwährender Veränderung begriffener verhältnissmässig sehr schwach klingender Mischfarben zu thun haben, die einander je nach dem Prävaliren einiger derselben bei ihrer stetigen Veränderung nach der oder jener Seite hin im Farbenresultat,

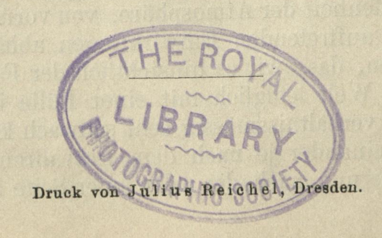
das nur langsam zu erreichen ist, störend beeinflussen, ja unter Umständen ganz auslöschen können.

Diese ganze Fülle vieltausendfältiger Oberflächen-Beschaffenheiten der farbig erscheinenden Körper um uns her soll auf eine einheitlich beschaffene lichtempfindliche Schicht abgebildet werden. Die Möglichkeit dessen dürfte so lange zu bezweifeln sein, bis es, wenn überhaupt möglich, erreicht ist, die Beschaffenheit der lichtempfindlichen Schicht für ein durchaus gleichzeitiges und gleichwerthiges momentanes Einwirken aller dieser wandelbaren Mischfarben durchaus zuverlässig zu stimmen.

Es kommt aber noch ein anderer Umstand hinzu, der mich veranlasst meinen vor nun bereits fünfzig Jahren ausgesprochenen Zweifel an der Möglichkeit der Lösung des Problems auch fernerhin aufrecht zu erhalten.

Als Voraussetzung für die Möglichkeit der Lösung des Problems habe ich weiter oben aufgestellt, „dass das die Beantwortung Fordernde, d. i. die Farbenbestrahlung, in seiner Beschaffenheit an sich von dem optischen Eindrucke, den es auf die Wahrnehmung macht, in Nichts abweiche. Aber findet denn eine solche Uebereinstimmung überhaupt statt? Mit Immanuel Kant wissen wir, dass „das Ding an sich“ uns unbekannt ist. Unsere Farben-Wahrnehmung ist eine subjective; wieviel Objectives daran ist, wissen wir nicht, wir können vielleicht der Erkenntniss hierüber durch fleissige und gewissenhafte Experimente auf dem zuletzt besprochenen Wege näher kommen. Zugegeben die Erklärung von Helmholtz über das subjective Accomodiren des Auges für Farben, resp. für die Wellenlänge der Farbenstrahlen, so wird selbst dieses Accomodations-Vermögen des Auges stets eben nur ein für das Individuum subjectives sein und bleiben. Die von uns wahrgenommene Farbe ist eben nichts absolut Objectives, und es dürfte mit Recht zu bezweifeln sein, ob dieselbe jemals absolut objectiv getreu abgebildet werden kann. In meiner „Besprechung“ über denselben Gegenstand in „Phot. Mitth.“ v. 1. Nov. 1892, 29. Jahrg., S. 234–239, habe ich, was ich hiermit auch hier bestätige, ausgesprochen: „Als unerlässliche Voraussetzung für die Möglichkeit der Lösung des Problems müsste unveränderlich feststehen: 1. Die Farbe der Gegenstände ist rein objectiv; 2. der Gegenstand mit seiner Farbe ist momentan abzubilden; 3. eine Verlängerung der Belichtungsdauer darf keinerlei verändernden Einfluss auf das Resultat ausüben; 4. dasselbe darf nicht persönlich veranlassten Variationen in der Vor- oder Nachbehandlung unterliegen. Erst mit dem Eintreten und zuverlässigen Fortbestehen dieser jetzt noch fehlenden Bedingungen kann man auf Grund der durch wissenschaftliche Experimente zu sammelnden Erfahrungen der Lösung des Problems näher treten“.

Ueber meine neuesten experimentellen Untersuchungen über diesen Gegenstand siehe: Krone, Weitere Erfahrungen über Farbenphotogramme von Spectren, in Wiedemann's Annalen f. Phys. u. Chemie, Neue Folge, 1893.



Druck von Julius Reichel, Dresden.